酸性紅壤土壤肥力增進之研究[1]

李 子 純[2]

一、前 言

據本所過去對本省土壤肥力測定結果，强酸性土壤，即 PH 值在5.6以下者，約佔本省耕地面積三分之一。强酸性土壤不利於作物生長，對旱田而言，施用石灰爲既古老且普遍的改良法。但水田因長期浸水，土壤處於嫌氣性狀態之下，性質與旱田迥異，施用石灰是否能達增產目的，至今尙無定論。

過去所作實驗，證實水稻施用石灰的效果，因地而異，或能增產，或無作用。臺灣過去的實驗顯示，施用石灰多能增加水稻產量，然近年的實驗則又多發現施用石灰不能增產，其故安在，値得研討。

日本過去對酸性土壤種植水稻時，亦多施用石灰，他們認爲石灰可代替氮肥。但近年的實驗，發現一種含矽酸鈣的鑛渣，施用於水田，不但能增加水稻產量，而且能增加對稻熱病的抵抗力。本所亦曾於桃園，臺北等地實施矽質鑛渣對水田之肥效實驗，結果顯示矽酸鈣對水稻產量確有良好效果，且顯然有增强水稻抗稻熱病之功效。

施用適量的有機肥料，有利於作物生長，石灰又能促進有機物分解，則石灰與有機肥料同時施用時，其對水稻效果究竟如何，亦有探討之必要。

本省石門水庫灌漑系統之地區，茶園轉作水稻區，土壤均屬强酸性（PH4.5）之紅壤，轉作後水稻生長不甚良好，據已有之肥料試驗結果顯示氮、磷肥爲首要之肥料，而石灰之效果不詳。

本試驗之目的爲（1）確定在此種强酸性紅壤上施用石灰、矽酸鈣及堆肥的效果，及（2）各處理對土壤所引起之化學變化及其與水稻生長及產量的關係。

二、材料及方法

1.土壤取自中壢鎭附近茶園，爲一强酸性紅壤，其性質如下：

質地——坋質粘壤土	有效鉀（K）—30ppm
PH—4.80	陽離子交換全量－10.58（meg/100g）
有機質－2.23%	可交換鹽基－2.90（meg./100g）
有效磷（P）－18ppm	活性鐵－3.50%

2.設計：採裂區完全逢機區集設計，以堆肥之施用量爲主區，$CaCO_3$ 及 $CaSiO_3$ 之施用量爲副區，共重覆4次，試因及等級；堆肥－0，0.25%；$CaCO_3$—O，5 及 10 tons/ha；$CaSiO_3$—0，1.5 及3.0 tons/ha.

3.分析工作：本試驗於温室中進行，每盆用土10公斤。自插秧日起至開花時止，每2星期由盆底所裝之玻璃管採取土壤溶液樣本，分析其 PH，電導度，Fe^{++}，Mn^{++} 及 NH_4^+ 等，同時每2星期量取其株高及分蘖數，直至最高分蘖期，收穫後記取其谷、藁產量，並作植物分析。

三、結果及討論

本試驗共進行2期作，土壤改良劑（石灰、矽酸鈣）及堆肥僅於第一期作中加入；第二期作爲餘

本試驗承國家科學委員會補助，謹此致謝。

1 試驗報告農試字第五一一號

2 臺灣省農業試驗所技士。

效試驗，各處理均僅施以氮、磷、鉀肥。玆將兩期作之結果一併討論如下：

1.碳酸鈣、矽酸鈣對土壤溶液化學變化的影響。

PH：如圖1所示，兩期作中碳酸鈣均顯著提高了土壤的 PH 值，尤以一期作中更爲明顯；至於矽酸鈣對 PH 的影響則兩期作中均不明顯。施用堆肥對土壤溶液化學變化無甚影響，故在此不予討論。

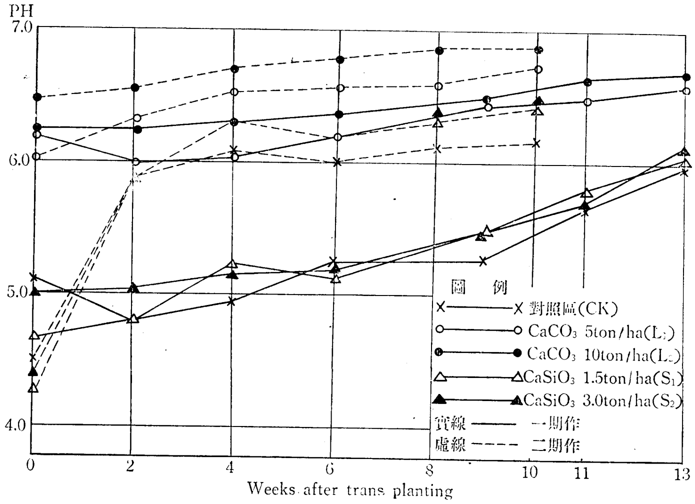

圖1. 施用 $CaCO_3$, $CaSiO_3$ 對土壤溶液 PH 變化的影響

Fig 1. PH Kinetics as affected by $CaCO_3$, $CaSiO_3$ application

對照區在第二期作初二星期內 PH 變化特大，由 PH 4.5 升高至5.9，其後則趨於穩定。此突然之升高，乃由於二期作插秧時（八月）氣溫較高，土壤還原較快之故。

比電導度（Specific conductance）：二期作中土壤溶液之比電導度顯然均較一期作爲高。碳酸鈣及矽酸鈣之影響則在兩期作中均一致，前者提高了土壤溶液的比電導度，後者則略有將其降低之趨勢。（圖2）

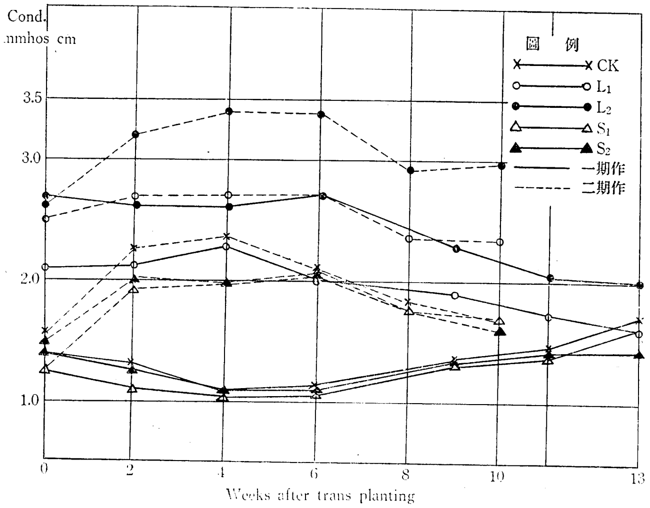

圖2. 施用 $CaCO_3$, $CaSiO_3$ 對土壤溶液比電導度的影響

Fig 2. Kinetics of Specific Conductance as affected by $CaCO_3$, $CaSiO_3$ application

水溶性Fe^{++}的變化（圖３）：因氣溫不同，兩期作中 Fe^{++} 濃度的變化相差極大。在一期作中施用碳酸鈣加速了鐵的還原，使其最高濃度提前出現，其後亦使其濃度略微降低。矽酸鈣處理在前９星期中均與對照區無差異，其後略微降低了 Fe^{++} 的濃度。二期作中因插秧時氣溫高，土壤內還原作用進行快，故對照區內，水溶性 Fe^{++} 在前２星期內急劇增高，由29ppm增至 355ppm，其後數星期雖仍在升高，速度則漸形減低，至第８星期後濃度始行降低，而在插秧後第２至10星期內，Fe^{++} 濃度均在340－447ppm之間。矽酸鈣略微減低了Fe^{++} 的濃度，碳酸鈣確自始至終極顯著地降低了Fe^{++} 的濃度，達一倍以上，使５噸碳酸鈣處理者在插秧後４至10星期內幾乎穩定於190—200ppm 之間，而10噸碳酸鈣處理者則在100ppm左右。

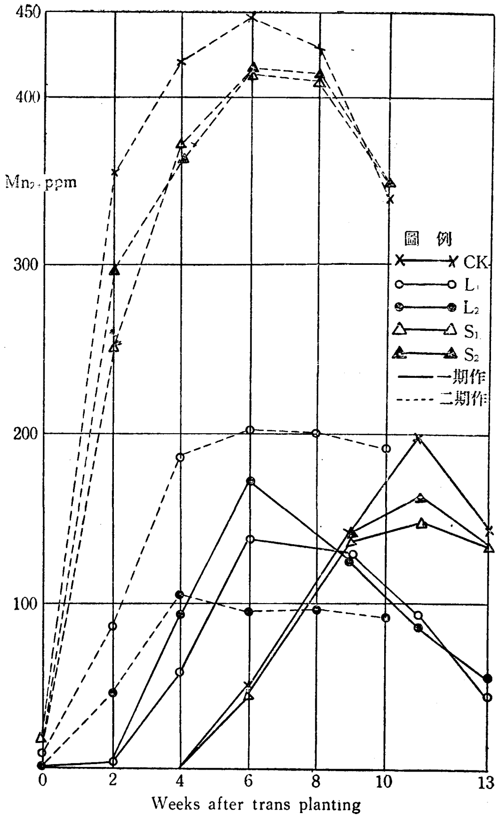

圖３．施用$CaCO_3$, $CaSio_3$對土壤水溶性Fe^{++}變化的影響

Fig 3. Kinetics of Water Soluble Fe^{++} as affectedby $CaCO_3$, $CaSiO_3$ application

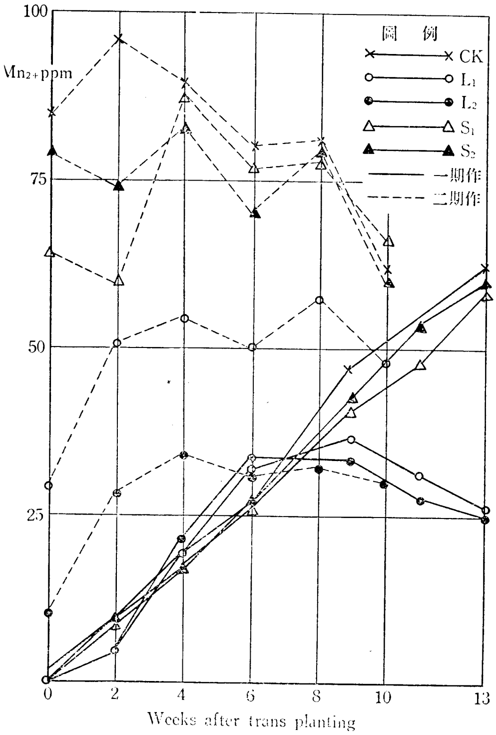

圖４．施用$CaCO_3$, $CaSiO_3$對土壤水溶性Mn^{++} 變化的影響

Fig 4. Kinetics of Water-Soluble Mn^{++} as affected by $CaCO_3$, $CaSiO_3$ application

水溶性Mn^{++} 的變化（圖４）：兩期作中Mn^{++}的變化相差亦極大。第一期作中插秧後４星期內，各處理水溶性 Mn^{++} 的變化幾近相同。６星期後碳酸鈣顯著地降低了 Mn^{++} 的濃度。矽酸鈣處理內 Mn^{++} 的變化與對照區相似，僅在第６星期後略微減低了 Mn^{++} 的濃度。二期作中 Mn^{++} 的濃度在插秧時即甚高，各處理對 Mn^{++} 的影響與 Fe^{++} 相似，即矽酸鈣略微減低了 Mn^{++} 的濃度，碳酸鈣顯著地減低了 Mn^{++}的濃度。

水溶性 NH_4^+ 的變化（圖５）：兩期作採樣期中各處理內 NH_4^+最高濃度亦僅10ppm，顯示此土壤中氮含量極低。$CaCO_3$及$CaSiO_3$並未增加NH^+_4的濃度，反而在一期作前期及二期作後期降低NH^{+}_4

的含量。

2. 水稻生長及產量

水稻生長情形：

一期作於58年3月13日插秧，每盆用苗4株，品種爲臺中65號，苗高14公分，因插秧初期氣溫仍低，故前4星期各處理幾均無新分蘗，其後加施堆肥者，先開始分蘗，6星期後直至收穫時（8月5日）有堆肥的處理分蘗均較多（表1）。無堆肥而有石灰處理，尤其5噸石灰者分蘗亦較多，但在與堆肥合施時則否，在每公頃10噸石灰的施量下甚至顯著地減少分蘗數及穗數。矽酸鈣則在與堆肥共施時略微增加分蘗數及穗數，無堆肥時呈反效果。各處理對株高影響均不大，其影響趨勢則與分蘗數相似。

餘效試驗於8月14日插秧，插秧後約3星期，施用石灰者即明顯地較其他處理生長良好，第4星期之分蘗數及株高，各處理即有明顯差異，此後碳酸鈣處理之生長情形，即一直較其他處理爲佳（表1）。與前期作生長情形不同者，爲本期作堆肥效應不如前期明顯，而碳酸鈣處理，尤其10噸處理者顯然促進水稻生長，其原因當係碳酸鈣除提高土壤之 PH 値外，更由於生長期中將水溶性Fe⁺濃度由 400ppm 以上減低至 200 ppm 以下，如圖3所示（按土壤溶液中 Fe⁺ 濃度超過 200ppm 時，即能阻礙水稻生長）。但水稻開花後成熟期中，由於氣候不佳，連日陰雨，故除成熟期延遲至2月12日外，稻谷收量亦低，不稔率提高。

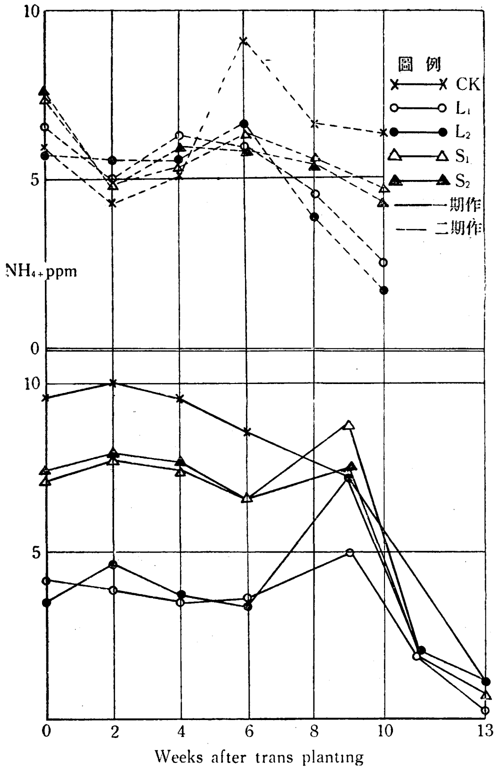

圖5. 施用 $CaCO_3$, $CaSiO_4$ 對水溶性 NH_4^+ 變化的影響

Fig 5. Kinetics of Water-Soluble NH_4^+ as affected by $CaCO_3$, $CaSiO_3$ application

表1 施用 $CaCO_3$, $CaSiO_3$及堆肥對株高、分蘖及穗數的影響

Table 1. Tiller number Plant height and Panicle number as affected by $CaCO_3$. $CaSiO_3$ and manure application.

處理 Treatment		一期作 插秧後週數 (Weeksafter transplanting) 0 株高	0 分蘖	2 株高 (cm)	2 分蘖	4 株高	4 分蘖	6 株高	6 分蘖	8 株高	8 分蘖	10 株高	10 分蘖	一期作 收穫時穗數 Panicle No.	二期作(餘效) 插秧後週數 0 株高	0 分蘖	2 株高	2 分蘖	4 株高	4 分蘖	8 株高	8 分蘖	10 株高	10 分蘖	二期作(餘效) 收穫時穗數 Panicle No.
M_0	O	14	4	35.5	4	49.2	4	64.5	4.3	73.5	5.8	82.0	7.8	12.8	15	4.0	31	4.0	55	4.0	94	9.5	95	11.0	11.0
	L_1	14	4	30.6	4	46.3	4	63.0	4.8	74.5	9.3	83.9	10.5	11.8	15	4.0	30	4.0	64	6.0	107	14.8	108	16.8	16.5
	L_2	14	4	29.7	4	42.9	4	59.0	4.0	72.0	7.8	80.0	8.5	10.5	15	4.0	33	4.0	65	7.3	107	17.5	108	18.0	15.8
	S_1	14	4	34.7	4	48.8	4	64.5	4.0	76.0	5.3	83.6	6.5	10.5	15	4.0	31	4.0	61	4.5	103	10.5	105	11.3	12.3
	S_2	14	4	35.8	4	49.9	4	63.8	4.0	73.3	5.8	81.5	6.0	11.5	15	4.0	30	4.0	58	4.5	97	10.5	99	11.3	12.5
M_1	O	14	4	36.3	4	49.4	4	67.0	7.3	79.5	10.3	87.8	12.0	15.8	15	4.0	29	4.0	55	4.0	96	11.5	97	12.3	15.5
	L_1	14	4	33.8	4	47.8	4	66.8	5.5	77.9	10.3	84.0	12.0	13.5	15	4.0	32	4.0	61	5.8	105	14.8	105	16.5	15.2
	L_2	14	4	28.7	4	40.6	4	60.8	4.3	72.0	6.8	83.3	8.8	11.8	15	4.0	31	4.0	68	6.5	103	16.8	104	17.5	16.5
	S_1	14	4	35.1	4	50.0	4	68.0	6.3	80.1	10.8	91.3	12.5	16.0	15	4.0	30	4.0	57	6.0	96	11.0	98	12.5	13.3
	S_2	14	4	37.1	4	48.6	4	67.5	6.3	80.1	11.5	88.5	12.8	16.0	15	4.0	30	4.0	55	4.3	95	10.0	100	11.5	13.0

M_0—無堆肥　　　M_1—加入0.25%堆肥

O—無 $CaCO_3$ 及 $CaSiO_3$

L_1—$CaCO_3$　5公噸／公頃　　L_2—$CaCO_3$　10公噸／公頃

S_1—$CaSiO_3$　1.5公噸／公頃　　S_2—$CaSiO_3$　3.0公噸／公頃

谷藁產量

谷藁產量列於表 2 。一期作中堆肥之施用，谷產量增加48%，藁產量增加36%。添加有機堆肥顯然對水稻之效用極大，因堆肥能供給作物養分，且有助於土壤物理性之增進。但就本試驗生長期中土壤溶液分析，知其對土壤化學變化之影響不大。碳酸鈣在無堆肥處理中，亦增加了谷、藁產量，其中 L_1增加谷產量達27%，藁產量23%，而 L_2 則僅增加谷產量 14%，藁產量反而降低 8 %。此試驗中碳酸鈣增加產量原因，除由於提高水稻生長期中土壤 PH 值至 6.0以外，部份似歸因於促使生長後期水溶性 Fe^{++}、 Mn^{++}濃度之減少，因本試驗分蘗盛期在插秧 6 星期後，而碳酸鈣處理中水溶性Fe^{++} 、Mn^{++}恰亦在此時開始降低。碳酸鈣與堆肥合施時， L_1 對谷產量無影響，而藁產量減低 8 %； L_2 則除減低藁產量外，更減低谷產量達19%。 L_2 所產生的反效果，或由於碳酸鈣促進有機質分解，所產生有機酸、 CO_2 等濃度過高，對水稻生長不利之故。 矽酸鈣則與碳酸鈣相反，不與堆肥合施時減少水稻產量，而與堆肥合施時則無明顯影響。

表 2　各處理谷、藁產量

Table 2. Grain and Straw yield as affected by $CaCO_3$, $CaSiO_3$ and manure application (g/pot).

處理 \ 產量		一期作 谷 (Grain)	一期作 藁 (Straw)	二期作 (餘效) 谷 (Grain)	二期作 (餘效) 藁 (Straw)
M_0	O	16.94	29.18	4.62	30.50
	L_1	21.46	36.02	10.56	46.50
	L_2	19.28	26.80	14.57	46.50
	S_1	15.43	25.75	4.12	34.00
	S_2	15.20	23.53	5.89	33.75
M_1	O	25.07	39.58	6.96	39.00
	L_1	25.25	36.46	9.00	47.50
	L_2	20.23	35.35	15.10	46.75
	S_1	25.43	41.35	7.86	40.25
	S_2	25.71	41.35	4.81	40.50

二期作產量，在無石灰及矽酸鈣處理中，堆肥仍然增加谷產量達50%，藁產量24%。但堆肥與石灰共施處理中，堆肥雖不如第一期作中有減產趨勢，其效果却不明顯。碳酸鈣顯著地增加了谷與藁產量。矽酸鈣無效果。

由植物分析結果（表 3 ）顯示：在無石灰、矽酸鈣，而僅有堆肥處理中，堆肥增加稻藁中 P、Fe 及Mn含量，而減低N、K 及 Ca 含量。石灰增加 P 的含量，減低 Fe、Mn 含量，堆肥與石灰合施時，對稻藁中成份影響幾恰與僅施堆肥時相反，即增加 N、K 而減少 P、Fe、Mn及 Ca 含量。

矽酸鈣顯著增加K、Fe 及 Mn 含量，並略微增加N 及 P 含量，而 Ca 含量却顯著地減少。

表3 稻藁中礦物元素含量

Table 3. Mineral Content of the Straw at Harvest

處理 Treatment		N %	P ppm	K %	Fe ppm	Mn ppm	Ca %
M_0	O	1.157	11.9	0.830	170	1475	0.483
	L_1	0.897	25.6	0.730	147	1445	0.420
	L_2	0.812	27.9	1.080	118	1270	0.416
	S_1	1.213	11.1	1.510	350	2385	0.330
	S_2	1.224	10.9	1.420	337	1645	0.253
M_1	O	0.837	14.7	0.745	182	1525	0.429
	L_1	1.143	25.1	0.860	101	1560	0.390
	L_2	0.956	26.8	1.160	87	1150	0.374
	S_1	0.904	16.6	1.320	364	2175	0.233
	S_2	0.912	15.6	1.125	438	1610	0.183

四、摘要及結論

本試驗於溫室中進行，分第一期及第二期兩部份。目的爲比較石灰、矽酸鈣及堆肥對强酸性紅壤種植水稻時之效果及其對土壤化學變化的影響。

除第二期作爲餘效試驗外，兩期作的處理及材料、方法均相同。所用土壤爲中壢茶園强酸性紅壤（質地，坋質粘壤土；PH，4.80；有機質，2.23%；活性鐵，3.50%）處理及平準爲：堆肥0，0.25%；碳酸鈣 0 ，5 ，10公噸/公頃；矽酸鈣0，1.5及3.0公噸/公頃。採裂區逢機區集設計，以堆肥之添加爲主區，其他處理爲裂區，共重複 4 次。每盆用土壤10公斤，肥料處理均爲 N、P、K 各 50ppm ，水稻品種爲臺中65號，每盆插秧 4 株。土壤溶液分析，自插秧日起，每兩星期分析其 PH、比電導度、Fe^{++}、Mn^{++} 及 NH_4^{+}同時並記錄其株高及分蘖數，收穫後記錄其谷、藁產量，並作植物分析。

第一期爲 3 月12日插秧，8 月 5 日收穫，碳酸鈣顯著地提高水稻生長期中土壤的 PH，略微降低水溶性Fe^{++}、Mn^{++}的濃度，在不與堆肥共施時亦能增加水稻產量。其中每公頃 5 噸石灰之增產量谷、藁分別爲27%及23%；10噸石灰則僅使谷產量增加14%，而藁產量則降低 8 %。

施用百分之零點二五的有機堆肥，對土壤化學變化影響雖小，却顯著增加水稻谷、藁產量，碳酸鈣與堆肥合施時，得反效果。其中 5 噸石灰對產量影響雖不大，而10噸石灰則減低谷產量19%，藁產量亦因之減低。

矽酸鈣對土壤化學變化及水稻生長、產量均無明顯效應，惟與堆肥合施時似較單獨施用爲佳。

第二期作爲餘效試驗，各處理僅於插秧前一日施以氮、磷、鉀肥。於 8 月14日插秧，但本期作成

熟期中因氣候不良，日照不足，故成熟期延遲，不稔率提高，產量極低。

碳酸鈣處理中土壤 PH 値仍然顯著地提高，其生長期中土壤水溶性 Fe^{+} 濃度亦由未施碳酸鈣區的 350—450ppm 降低至 100—200ppm 之間，水溶性 Mn^{+} 濃度也隨之降低，因而促進水稻生長，提高其產量達一倍以上。

堆肥單獨處理仍較對照區產量爲高，碳酸鈣與堆肥合施處理中水稻產量亦顯著提高，惟此時堆肥效用不明顯。矽酸鈣則無效。

此種土壤上 (PH低， Base Saturation%低，Active Fe 含量高) 施用石灰確能增產，施用量以每公頃 5 公噸較佳，惟效應在第二期作中 (生長期前半段温度高，土壤還原快) 較第一期作更佳。堆肥單獨施用時亦能增產，其效用在第一期作中較石灰尤佳，但堆肥不能與多量石灰 (5 噸以上) 同時施用。施矽酸鈣則無效。

EFFECTS OF $CaCO_3$ $CaSiO_3$ AND ORGANIC MANURE ON THE GROWTH AND YIELD OF RICE ON A FLOODED ACID LATOSOLIC SOIL

Tze-Shun Lee Wang

Two greenhouse experiments were conducted on a strongly acid latosolic soil to compare the effects of $CaCO_3$, $CaSiO_3$, and organic manure on the chemical changes and the growth and yield of flooded rice. The first experiment was conducted from March to August 1969. The second was for the residual effects conducted from August 1969 to February 1970

The materials and methods used in these two experiments were the same. The soil used was a strongly acid latosolic soil from Chung-Li (Texture SiCL, PH 4.80, O.M. 2.23 %, Active Fe 3.5%). The factors and levels were:organic manure, O, 0.25%; $CaCO_3$ 0.5, and 10 tons per hectare;$CaSiO_3$, 0, 1.5, and 3.0 tons per hectare. The soil solutions were drained fortnightly and analyzed for specific Conductance, pH, Fe^{+}, Mn^{+}, and $NH^{+}{}_4$. Plant observations were taken every two weeks and the yield of straw and grain noted at harvest. The straw and grain were analyzed for N,P, K, Fe, Mn, and Ca.

In the first experiment, $CaCO_3$ remarkebly increased the soil pH throughout the sampling period, depressed water-soluble Fe^{+} and Mn^{+} after six weeks of submergence, and increased the yield of grain and straw 27% and 23% respectively in the 5 tons per hectare $CaCO_3$ treatment, while as in the 10 tons treatment, only the grain yield was increased by 14%.

0.25% organic manure appeared to be the best treatment, though it brought about no recognizable chemical changes in the soil solution, it increased the yield of grain by 48% and straw 36%.

When $CaCO_3$ and organic manure were applied together, no remarkable effect was found in the 5 tons $CaCO_3$ treatment. However, in 10 tons treatment a decreased yield of grain and straw was obtained. Probably, this was due to the fact that $CaCO_3$ hastened the decompose of organic matter and produced high concentrations of organic acids, CO_2, etc., which were toxic to the rice plant.

No obvious chemical changes was brought about by $CaSiO_3$ application, nor did it influence the growth and yield of rice.

The second experiment was for the residue effects of $CaCO_3$, $CaSiO_3$ and manure application. The transplanting was done on August 14, but the nufavorable climate during ripening phase delayed the harvesting time and decreased the rice yield accordingly.

In this experiment, $CaCO_3$ remarkebly increased the soil PH, decreased water-soluble Fe^{++} from 350-450 ppm. (a high Fe^{++} concentration which was consistent through most of the sampling period.) to 100-200 ppm. Water-soluble Mn^{++} was also decreased. Thus improved the growth of rice and remarkebly increased its yield. The effect of manure was not clear here and no response was found to $CaSiO_3$

Lime was beneficial in this latosolic soil with low pH, low base saturation percentage but high in active Fe. The effect was better in the second crop than the first. Organic manure significantly increased the yield of rice, but it could not be used simultaneously with lime, especially high rate of lime (e.g. more than 5 tons/ha.). $CaSiO_3$ did not benefit rice.

參 考 文 獻

1 林家棻 1967.臺灣省農田肥力測定。
臺灣省農業試驗所試驗報告第28號。

2 林國謙、連深、李蘭帝1962，矽酸對於水稻產量之效應 農業研究十一卷三期。

3 吳啓東、連深 1965，矽對水稻之效應 農業研究十四卷三期。

4 步焱昇、張守敬 1950，臺灣酸性土壤栽培水稻之石灰施用量試驗（第一報）農業研究一卷二期。

5 張守敬、步焱昇 1951，臺灣酸性土壤栽培水稻之石灰施用量試驗（第二報）農業研究二卷一期。

6 張守敬、黃國瑞 1951，水稻施用石灰示範試驗報告 農業研究二卷三期。

7. IRRI, 1964-5 Annual Report. The International Rice Research Institute. Los Banos, Laguna, The Philippines.

8. Ponnamperuma, F.N., R. Bradfield, and M. Peech. 1955.
Physiological disease of rice attributable to iron toxicity. Nature. 175 : 265

9. Tanaka, A. R. Loe, anp S. A. Navasero. 1966. Some Mechanisms involved inthe development of iron toxicity Symptoms in the rice plant. Soil Sci. and plt. Nutr. 12(4):158-64.